

陈振翼 杨公源 沈洪勋 编

张力控制系统

ZHANGLIKONGZHIXITONG

纺织工业出版社

张力控制系统

陈振翼 杨公源 沈洪勋 编

纺织工业出版社

内 容 提 要

本书专门论述纺织生产中卷绕装置的张力控制问题。书中所列举的实例，代表面较广，多为纺织生产中各种张力控制系统的精华。作者力图通过对国内外各种张力控制系统的详尽分析，为读者提供必要的理论依据和行之有效的途径，将有助于使用和维修人员更好地掌握调试和维修技术。

本书共分六章，第一章概述；第二章张力控制原理及方案；第三章张力控制系统的动态补偿；第四章典型卷绕张力控制系统分析；第五章张力控制系统设计原则；第六章微机控制恒张力系统研究。

本书可供纺织行业电气技术人员，技术工人及纺织院校师生学习参考。

责任编辑：郑剑秋

张力控制系统

陈振翼 杨公源 沈洪勋 编

纺织工业出版社出版

(北京东长安街12号)

纺织工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092毫米 1/32 印张：7 16/32 插页：1 字数：166千字

1988年10月 第一版第一次印刷

印数：1—3,000 定价：2.15元

ISBN 7-5064-0066-9/TS·0067

前 言

本书专门论述纺织生产中卷绕装置的张力控制问题。卷绕是纺织生产中比较普遍的一种加工方式，存在于纺纱、准备、织造和染整等过程中。但对卷绕装置的电气传动，目前在国产的纺织设备中还缺乏比较成熟和理想的控制方案，在设计方法上也缺乏足够的依据。本书力图通过对卷绕张力控制的系统理论和国外引进设备中各种张力控制系统的详细分析，为读者提供必要的理论依据和行之有效的实现途径，作为提高张力控制系统设计水平的参考。本书所列举的张力控制系统，涉及面较广，分析也较全面，因此具有一定的代表性。为了加速机电一体化的实现，本书还介绍了微型计算机在张力控制系统中的应用情况。

本书共分六章，第一章和附录由中国纺织机械工业总公司纺机研究所沈洪勋执笔；第二章、第五章和第六章由天津纺织工学院陈振翼执笔（其中第六章的“自适应控制恒张力系统研究”一节与天津纺织工学院廖正合写）；第三章由天津纺织工学院杨公源执笔；第四章由陈振翼和杨公源合写；全书由沈洪勋校审、整理成册。在编写中曾得到天津针织厂李景芳、于秀英，天津床单一厂刘凤株，天津一纺机郭宗汉，天津纺院流体传动研究室娄国兴，以及天津纺院自动化系李核心等同志的热情支持和帮助，在此一并表示谢意。

由于编者水平所限，难免有错误或不当之处，恳切期望广大读者批评指正。

编 者

1987年7月

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 张力控制在纺织生产中的意义	(1)
第二节 纺织卷绕装置的特点和要求	(2)
第三节 卷绕传动方式的分类	(5)
第四节 张力控制的基本原则	(7)
第二章 张力控制原理与方案	(11)
第一节 恒张力控制的基本原理	(11)
第二节 开环控制系统	(15)
第三节 扰动补偿类控制系统	(24)
第四节 张力闭环调节系统及开卷机构的张力 控制	(30)
第三章 张力控制系统的动态补偿	(34)
第一节 卷绕系统的数学描述和图解	(35)
第二节 间接张力控制系统的动态补偿	(39)
第四章 典型卷绕张力控制系统分析	(49)
第一节 国产整经机的张力控制	(49)
第二节 国外整经机的张力控制	(68)
第三节 国外浆纱机的张力控制	(82)
第四节 METAP织编机的张力控制	(131)
第五节 并轴机的张力控制	(155)
第六节 尼龙帘子布浸胶机的恒张力控制	(167)
第五章 张力控制系统设计原则	(174)
第一节 张力闭环调节系统设计原则	(175)
第二节 扰动补偿类恒张力系统设计原则	(185)

第三节	电动机容量的选择	(188)
第六章	微机控制恒张力系统研究	(192)
第一节	Z80单板机控制卷绕机构恒张力 系统	(193)
第二节	卷绕系统的自适应控制	(202)
附录	(214)

第一章 概 述

第一节 张力控制在纺织 生产中的意义

在纱线、织物和化学纤维的加工过程中，张力是一个很重要的因素。例如化纤纺丝工艺上所要求的不同拉伸比，就需要相应的张力来实现。这种张力可称为“拉伸张力”。为了使加工物的质量稳定，拉伸张力在整个过程中应保持恒定。同时，由于机械装置的摩擦或传动系统的特性，在加工过程中会产生附加张力。例如当加工物经过被动的导辊时、~~缠绕~~控制不当时，或在总轴传动的联合机中各牵引辊的直~~径~~匹配不当时，就会造成额外的张力而超过允许的范围。这种附加张力是工艺上不需要的，因此必须加以抑制。另外，在某些染整设备中虽然工艺上并不需要张力，但由于操作上的原因，为了防止织物过松而起皱或跑偏，操作工人往往有意识地增大织物的初始张力，例如在松紧架上悬挂重物等。这种张力可称为“操作张力”。它虽不属于正当需要，但在实际生产中却是屡见不鲜的。消除操作张力的关键在于提高设备的制造质量和安装水平，以及挡车工的操作技术。总之，张力在纺织生产中有时具有积极的作用而必须保证，有时则具有消极作用而必须加以限制。除了操作张力是由人工因素造成而难以控制以外，不论是拉伸张力或附加张力都是需要加以控制的，因此是电气传动控制必须解决的重要课题

之一。

合成纤维束在后处理过程中的拉伸张力虽能通过电气控制来保证，但它基本上属于协调调速系统的范畴。由机械摩擦引起的附加张力当然也可藉电气控制来适当补偿，但它同样是属于同步调速系统所必须考虑的问题。这些问题均将在纺织自动化套书的《同步传动系统》中详述，故本书仅着重讨论卷绕张力的控制方法。

第二节 纺织卷绕装置的特点和要求

卷绕装置的作用是将经过加工后的纱线或织物卷绕成筒形，准备下一道工序进行处理，或作为最终产品。它在纺纱、织造、印染和化纤生产中都被普遍采用，因此卷绕控制是纺织生产中的一个典型问题。在纱线的卷绕过程中除应控制张力外，还要求成型控制，以达到工艺所需的卷装型式和尺寸。这种成型控制可采用机械式或电气式的专用装置来实现，由于方式各异、涉及面太广，在此不作专门讨论。本书仅限于卷绕装置的张力控制。

织物加工设备中对卷绕张力的限制，主要是为了防止织物的伸长；同时在染色过程中，由于织物张力对脱色的效果尚属有影响，所以要求张力尽可能不变。但有时为了提高汽蒸处理的效果，往往要求张力随着卷径的增大而逐渐递减，也就是异紧外松的要求。除了张力控制以外，对同一批号在染色加工时还要求织物经过染液的线速度恒定，以保证染色的均匀性。

卷取的线速度 $v = \pi Dn$ ，由于卷径 D 越卷越大，若卷取

轴的转速 n 不变；则线速度必然随卷径而升高。如果加工物的喂入速度控制在恒定值，则张力势必随卷径而增大，显然是不能满足恒张力和恒线速的要求的。因此，对卷取轴的转速必须加以控制，使其转速自动随着卷径 D 成反比地降低。可见张力控制实质上就是速度控制。从调节手段来看，它与一般的速度调节系统没有什么不同，关键在于张力信号的准确检测和调节系统的合理设计，以获得优良的静态和动态性能。

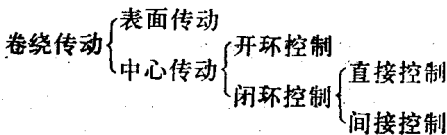
所谓卷绕控制应包括卷取和退卷两个方面，当加工物以卷筒形式喂入生产设备时，则必须先经过退卷的过程。退卷方式可分为被动式和主动式两种，或称为消极退卷和积极退卷。在被动式退卷中，卷轴是由加工物拖引而转动，其拖动力矩等于张力与卷绕半径的乘积。此力矩用以克服卷轴的摩擦转矩。由于纱线或织物的重量仅占整个卷筒重量很小的一部分，故在满卷和空卷时的重量相差不大，可近似地认为摩擦转矩为一恒定值。因此拖引张力将与卷径成反比（ $T = \frac{M}{R}$ ），即随着退卷过程张力将逐渐增大。这是被动退卷方式的唯一致命缺点，它只适用于对张力没有严格要求的场合。为了实现退卷张力的控制，必须对卷轴的制动力矩加以控制，使它随着卷径的减小而自动变小。另一种方法是采用主动退卷传动。这里所指的主动并不意味着单纯地用一台电动机来驱动退卷轴，而是根据张力的要求使电动机能在电动和发电两种状态下工作。如要使纱线或织物保持足够的张力，则退卷电动机必须工作在发电状态，以提供所需的制动力矩。随着卷径逐渐变小，应使其制动力矩也相应减小，甚至使它工作在电动状态，提供必要的拖动转矩，以维持恒定

的张力。因此，理想的退卷传动也需要由一自动控制系统来保证。

在某些染整设备中，退卷和卷取同时存在于同一单元机中，并不断地交替工作进行染色或漂白处理，例如卷染机和叠卷式亚漂机等。在这种情况下，张力控制就要同时涉及两台电动机。尤其是在卷染机中由于它是单机封闭式传动，不象在联合机中织物的喂入速度有一个固定的客观基准，所以除了张力控制以外，还必须使速度在全过程内保持恒定。这无疑会使控制系统更为复杂，其难度当然要比单纯的张力控制略大。最理想的方法是采用一个速度调节器和一个张力调节器分别对卷取电动机和退卷电动机进行闭环控制。这在技术上是并不难实现的，但因这种系统需要不断地正反切换和退卷与卷取的交替，所以在动态过程中如何维持张力恒定，将是一个关键问题。这就需要在参数的设计和现场的调试中，特别加以注意。尽管闭环控制系统比较理想，但在国外的卷染机传动中也曾出现过若干简易而巧妙的方法。例如差动齿轮传动；定子可旋转的异步电动机作为电气式的差动控制；两台直流电动机串联供电分别传动卷取轴和退卷轴，自动实现电动和发电状态的转换等方案（详见附录）。这些方案早在60年代国内已有专文论述，虽不是最理想的方案，但都有一定的使用价值，目前在生产中仍有应用。目前国外的大型卷染机几乎已普遍采用液压传动。因为液压马达的效率、控制灵敏，所以能获得较佳的性能和很广的调速范围。因为国产的液压元件目前可靠性略差，所以在国产纺织机械中应用还较少。

第三节 卷绕传动方式的分类

卷绕传动的控制方式很多，大体上可分为以下几类：



表面传动是藉驱动辊通过摩擦力驱动卷筒的表面来进行卷绕的。由于驱动辊的半径始终不变，因此线速度与电动机的转速成固定的关系。只需采用恒速电动机传动便能使线速度基本不变。这种方式最为简单，但由于摩擦力的大小与卷筒的重量有关，并非恒定，而摩擦力的大小将影响打滑的程度，因此线速度也不可能完全不变。更主要的缺点是张力无法进行控制，而且摩擦对某种纤维和织物也容易发生损伤或产生静电。所以大多用于要求不高的场合，例如兼整联合机中的布卷喂入装置和出布打卷装置。国内的印染生产因大多采用布车落布和进布，所以应用较少。

中心传动中最简单的方式是采用软特性电动机的开环控制。由于卷绕功率等于卷绕张力和线速度的乘积，所以要求张力和速度均不变，则卷绕功率应为恒定。因此，如采用具有恒功率特性的电动机便能基本满足上述要求。由于电动机的输出功率等于转矩和转速的乘积，故当功率为恒定时，电动机的机械特性曲线为双曲线： $M \cdot n = \text{const.}$ ，也就是具有软的机械特性。常用的软特性电动机有直流串激电动机、力矩电动机和调压调速用的高转子电阻的异步电动机。直流串激电动机的特性比较理想，基本接近于双曲线特性，但由于它

不能在第二象限工作，不宜作为退卷传动，所以应用受到一定的限制。力矩电动机和调压调速用的高转子电阻的异步电动机虽属于软特性电机，但它与双曲线有很大的差异，因此只能在有限的速度范围内近似地实现恒功率传动。一般仅适用于要求不高的场合。

对于张力控制有较高要求的场合，必须采用闭环控制。张力控制的关键问题是张力信号的准确检测，一般有直接检测和间接检测两种方法。常用的直接检测张力的元件有应变片、压电陶瓷元件和各种形式的张力辊。通过它们的变形或位移所产生相应的电信号来进行控制。但目前的检测元件在精度、稳定性、快速性和安装方面还不够理想。因此，在相当多的纺织设备中仍采用间接的张力控制系统。

间接张力控制的实质，是通过电气传动理论对恒张力卷绕的物理方程进行静态的和动态的分析，从中找出影响张力的所有电气物理量，从而分别对它们进行控制。根据控制要求的不同可采取不同的方法，其中包括功率反馈、电流反馈、电枢反电势反馈、卷径反馈等，基本原理详见第二章。由于间接张力控制常涉及几个参数的自动控制，一般需采用多闭环的控制系统来实现，因此在系统结构和理论上要比直接张力控制更为复杂。

由于纱线或织物所能承受的张力较小，所以拖引转矩（即卷绕转矩）和卷筒的摩擦转矩的数值，基本上属于同一数量级，也就是说张力在总的负载转矩中不一定占主要的比例。因此藉电流反馈或功率反馈来控制张力时，往往容易发生误差，而必须采取有效的补偿措施，才能在各种卷径下均能保持张力的恒定。这一点与金属材料的卷绕控制有所不同。另外一个不同之处在于纺织材料是属于弹性物体，当承

受张力时必然会产生微量的伸长，而且卷筒在受压时又会产生变形，这些因素给理论分析造成困难。因此，有时不得不忽视这些因素，但在具体设计时应预计到它们的影响，在参数选配上适当留有余地。由此可见，纺织材料的精确卷绕张力控制，比金属材料的卷绕张力控制在理论上更为复杂一些。然而由于纺织生产工艺对张力的要求，往往没有一个确切的数据和严格的极限，因此在实际生产中，精确、完善和实用的张力自控系统目前并不多见，大多属于一般要求的控制系统。

第四节 张力控制的基本原则

张力控制本质上是一个速度调节的问题，所以控制效果主要取决于调速系统的各项指标。高精度的张力控制系统目前仍以直流传动占首要地位。虽然近年来新颖交流调速系统发展很快，但由于间接式的张力控制系统中，往往需要同时对电动机的各物理量进行调节，例如电源电压、电枢电流、电枢反电势、激磁电流等。因此，采用直流电动机显然比交流调速具有更多的优越性。

作为直流电动机的控制装置而言，最早是采用旋转式放大器，即交磁放大机。50年代后期曾改用磁放大器控制；到60年代中期，几乎已全部由半导体器件所取代。特别是采用集成化的电子器件后，使系统的快速性和可靠性得到了进一步的提高。用来衡量控制性能的一个指标称为性能系数，它被定义为放大倍数与时间常数之比。对上述三种放大装置，性能系数的数量级如下表所示：

	旋转式放大器	磁放大器	半导体放大器
性能系数	3×10^4	10^6	10^{12}

显然，半导体放大器具有压倒性的优势。另外，随着电子技术的发展，在张力控制系统中也已引入了微机技术，本书中所列举的各种卷绕控制系统，都是以半导体集成电路的运算放大器为基础的。另外还初步介绍了微型计算机在张力控制系统中的应用。

张力控制系统是一个整体，它除了机械部分以外，可分为以电动机为中心的传动部分及其所属的自动控制装置两大部分。在分析一种张力控制系统时，除了电气控制线路外常常会涉及多种机械的控制元件和执行机构，例如气动元件、液压元件、机械无级变速器以及专用的机械式调节机构等。对这些装置必须推导出它们的传递函数，建立数学模型，才能进行动态分析。当前，机电一体化是生产机械自动化的重要发展方向；为了提高机电一体化技术的水平，在张力控制系统的设计中应注意把微电子技术与机械装置有机地相结合，提高控制性能，并实现小形化和多功能化。在设计时，除应考虑闭环系统本身的控制性能外，还必须考虑以下有关问题：

- (1) 启动或停车时对织物必须不产生不良影响；
- (2) 运行中由于任何误操作，不应造成故障；
- (3) 当运行中断而重新启动时，不论卷径如何，仍应保持原来设定的张力；
- (4) 当发生故障时对操作者和设备不能造成危害；
- (5) 便于操作和维修。

间接式张力控制中比较复杂的问题，是如何对机械摩擦和惯性进行有效的补偿。补偿的目的在于消除过渡过程中的张力变化，因此主要是动态补偿。由于卷径和转速的连续变化将使卷轴的摩擦转矩和飞轮力矩不断地改变，所以控制系统中所取得的各个反馈量并不完全反映真正的张力变化，如果不采取有效的补偿措施，则必然影响控制的准确性，特别是在机械负载占较大比例的情况下，其误差将更大。

补偿的原则一般可根据卷径所引起的卷筒转动惯量的变化，把它折算到相应的设定值的变化分量，叠加到设定值中去（详见附录）。此附加设定常由随着卷径的变化而自动滑动的电位器中取出；这在电路上虽然不难实现，但关键是必须准确掌握机械和工艺数据，并通过正确的计算，而这些数据只有通过大量的实践和测定才能取得。除了卷径的动态补偿以外，当然还需考虑加减速的补偿，以消除在升速和降速过程中由于卷筒惯性所造成的张力变化。由于卷筒的惯性力矩是随着卷径而变的，所以任何时刻的补偿量都必须自动与卷径相适应。关于动态补偿的问题将在本书第三章中详细论述。

采用直接张力控制时，其调节系统将比间接控制简单得多。关键在于传感器的精确度、可靠性及具有高度的灵敏性，以期能反映瞬时的张力变化，及时加以调整。可见，在直接张力控制系统中，动态补偿的意义就不如在间接张力控制系统中那样重要。

近年来在直接控制方案中，有不少设备采用磁粉离合器代替直流调速系统。磁粉离合器由于反应快，体积小，而且可以采用普通的异步电动机作为原动机，所以可靠性高，系统结构简单，在张力控制中它是有一定的发展前途的，但因

磁粉离合器目前国内尚无定型产品，质量也有待进一步提高，因此大量使用受到一定的限制。

前面曾提到力矩电动机开环控制时只能在较小的卷径变化内近似地实现张力控制。但如果对力矩电动机进行闭环控制，也能较精确地实现恒张力控制。这种方案最近在国外也有较多的应用。它与直流传动相比，具有系统简单、工作可靠和投资费用低等优点。

总之，张力控制涉及的因素很多，生产要求也各不相同，因此应根据具体的工艺要求选用最佳方案。本书通过张力控制的基本理论分析，结合引进的各种张力控制系统和新技术的发展方向，介绍了实现卷绕张力控制的基本途径，试图为卷绕装置的设计和使用人员提供参考。所收集的方案，类型较齐，具有一定的代表性，而且都已成功地应用于生产。读者在此基础上，可取长补短，根据具体情况灵活运用，切忌照搬，并希望通过分析和创造，开发新的机电仪一体化的卷绕张力控制系统。

张力的控制

张力的控制

张力的控制

张力的控制

张力的控制

张力的控制

张力的控制

张力的控制

第二章 张力控制原理与方案

第一节 恒张力控制的基本原理

一、张力的形成与张力的开环控制原理

如前所述，卷绕机构对控制系统的基本要求是保持织物的张力恒定。因此，必须弄清楚，织物在加工过程中张力是怎样形成的以及它与哪些因素有关？只有这样才能找到设计恒张力系统的正确途径。

图2-1所示为一卷绕系统。设织物的张力为 F ，卷筒直径为 D ；前一单元 M_1 运行中织物的线速度为 v_1 ，卷绕单元 M_2 运行的线速度为 v_2 。显然，如果 $v_2 > v_1$ ，则织物将张紧，即织物张力加大；如果 $v_2 < v_1$ ，织物将松弛。所以，为使织物保持适宜的张力，卷绕机构在开始运行时，总是控制在 $v_2 > v_1$ ，于是织物将受到拉力而弹性变形。根据胡克定律，

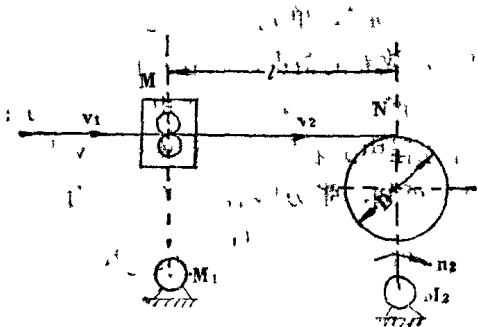


图2-1 卷绕系统